

Renishaw 測頭量測技術和採用應變電感技術的全新 OMP400 超精巧測頭

摘要

自 1972 年 David McMurtry 爵士發明接觸觸發式測頭以來，測頭量測已然成為工具機自動化生產過程的重要環節。這種簡單的測頭傳感機構採用動態電阻式結構來定位測針並確保高重複性，三十多年來構成了許多 Renishaw 測頭的基礎。Renishaw 的動態電阻接觸觸發式測頭不斷為製造業提供優質服務，至今仍是市場上暢銷的測頭量測產品，也是廣大終端使用者和工具機製造商的首選產品。這些測頭的量測效能和可靠性不容小覷。

儘管如此，Renishaw 也發現了提升工具機接觸式觸發測頭精度的契機，進而開發和推出了 Renishaw MP700。應變電感的感應技術問世，使越來越多的使用者享受到了高精度量測的益處。

Renishaw 針對應變電感技術持續進行開發，又推出了具有高量測效能的輕巧型 OMP400 接觸式觸發測頭。

動態電阻測頭

Renishaw 接觸觸發式測頭的機械傳感機構（圖 1）由小球珠和桿的彈簧承載動態電阻安裝方式組成。這種安裝方式形成了六個接觸點，可確保測針架固定在一個獨特的位置上，並具有優異的重複性。當測頭的測針接觸工件表面時，該機械傳感機構可使測針觸發（即測針發生偏轉），而測針離開工件表面時，機構內的彈簧則可使測針復位。多年來，Renishaw 以此原理為基礎，推出了各種接觸式測頭；在某些情況下，由於此類測頭已問世較長時間，一些人也將其稱為「傳統」測頭。然而，這並不是說這種測頭機械傳感機構多年來沒有任何發展與改進、效能始終受到制約。

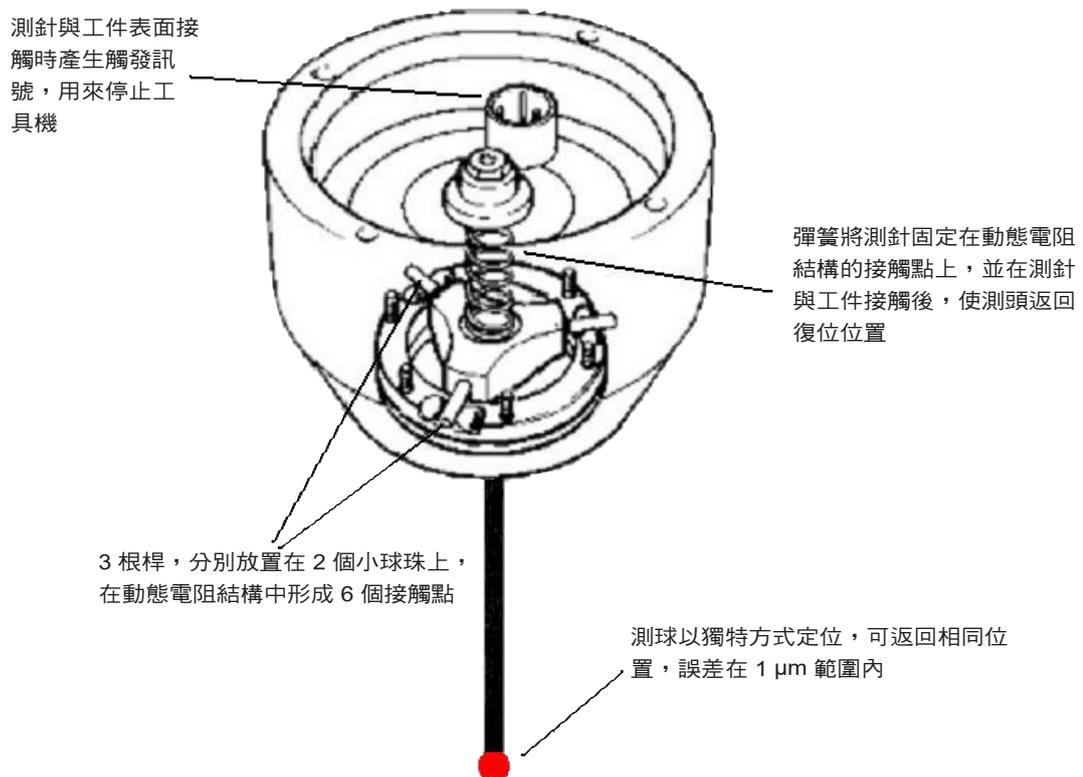
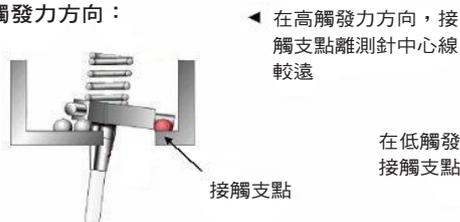


圖 1：

圖 2：

高觸發力方向：



在低觸發力方向，
接觸支點離測針中心線較近 ▶

圖 3：

低觸發力方向：

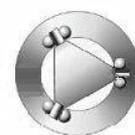


圖 4：
高觸發力和低觸發力方向

接觸元件由碳化鎢製成，可確保接觸面非常小（接觸面處的材料在彈簧作用下發生彈性變形）。電流流過接觸點形成電路，而測頭的電子元件則量測該電路的電阻。當電阻達到某個閾值時，測頭的輸出設為「已觸發」。至關重要的是，觸發時小球珠和桿仍保持接觸，因此測針能夠位於確定的位置，並獲得具有重複性的量測結果。

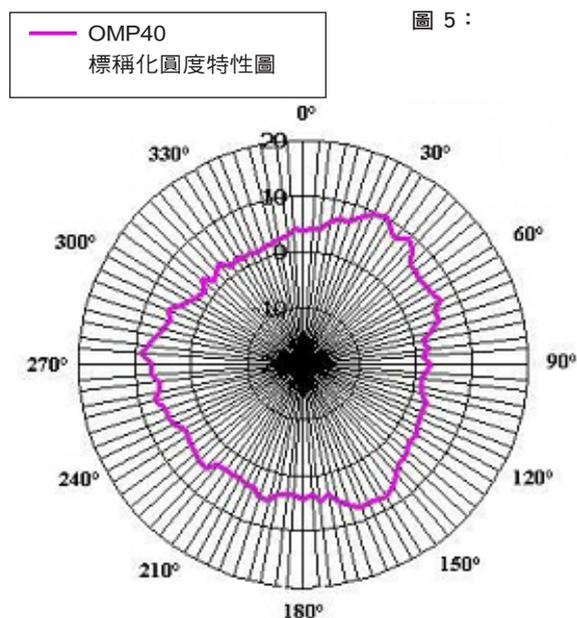
多種因素會影響動態電阻結構接觸式觸發測頭的量測效能。從測針的測球與工件接觸時開始，到測頭電氣觸發之前，測針會出現一定程度的偏轉。這種偏轉就是預行程。預行程因測針長度及剛性及觸發力而異（見圖 2、3 和 4）。預行程變化 (PTV) 通常也被稱為各向變異、測頭量測誤差或圓度量測誤差，它會影響量測效能。在 Renishaw 測頭內，幾組接觸點形成三角形佈置。接觸支點的距離因測力作用於測頭機械傳感機構的方向不同而異，因此會導致出現各向變異。測頭校正可補償這種各向變異影響。

量測時觸發力會發生變化，導致不同的預行程距離。還有很多其他類型的測頭機械傳感機構，其內部結構與此處介紹的測頭不同。有人認為，這些系統在 XY 平面的各向變異較低或者量測誤差較低。Renishaw OMP40、OMP60 和 MP10 接觸式觸發測頭配備 50 mm 測針時，小球珠和桿式的測頭機械傳感機構在 XY 平面的典型 PTV 為 6 μm 。右側圖 5 顯示的是校正環規的量測測試，測試在位置回饋解析度為 1 μm 的工具機上執行。使用 50 mm 標準陶瓷測針時，最大量測誤差為 8.85 μm ，其中包括工具機誤差。通過測試可以看出，Renishaw 測頭的預行程量始終很小；這表明，三角形佈置方式實際上通常並沒有較大量測誤差。

在 XZ 和 YZ 平面中或對完整的 3D 曲面進行 3D 測頭量測時，Renishaw 測頭低預行程的優點更為顯而易見。這是因為 PTV 也會出現在三維空間中，且此時 XY 和 Z 軸預行程的影響會相互結合。Renishaw 動態電阻式結構接觸式測頭在 Z 軸的預行程可忽略不計，由於 XY 預行程也很小，由此產生的 3D 量測誤差實際上接近 XY 量測結果的誤差。此外，如果使用預行程較小的測頭對傾斜表面進行量測，則在克服測球與表面之間的摩擦力之前，測頭即會發生觸發。

與之相反，機械預行程較大的其他類型測頭在觸發之前產生的觸發力可能會克服摩擦力，進而導致測球相對表面發生滑動。另外，XY 平面與 Z 軸之間的預行程差值越大，則 3D 量測誤差也會越大。

以下圖 5 顯示的是使用 OMP40 動態電阻式測頭量測校正環規圓度的典型圖示。



可以看到，這三個高測力方向是圖中的三個峰值點。在本例中，最大預行程變化約為 8.85 μm 。

校正

由於很容易通過測頭校正來補償，預行程本身不會造成量測誤差。量測已知尺寸和位置的基準特徵，以確定相關測針的平均預行程。校正完成後，影響量測精度的關鍵因素便是測頭的重複性。

然而，這種方法存在一些限制。複雜工件可能需要多個測頭量測方向。如果測頭/測針組合的 PTV 值足夠低，則它對量測精度的影響或許可以接受。然而，如果可能的量測誤差較大導致結果難以接受，可能需要在對測頭的各個方向上進行校正，這會非常耗時。

應變電感技術

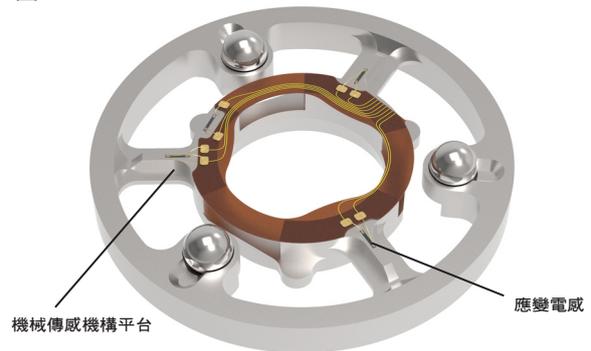
在研發能夠與工具機輕鬆溝通的下一代高精度測頭量測技術時，Renishaw 的目標是使測頭具有較低的預行程量，因此其 PTV 也會較小。Renishaw 開發了一種新型感應技術，解決了動態電阻接觸式觸發測頭傳感機構的 3D 量測侷限性 — 這便是矽應變電感技術。它將專用積體電路 (ASIC) 微電子技術與固態感應技術相融合，實現了優異的 3D 量測效能。

儘管應變電感接觸式觸發測頭仍然使用相同的機械結構來固定測針，但它不通過接觸元件的電阻變化來感應測針是否觸發。取而代之的是，一組應變電感被置於測頭機械傳感機構平台內精心設計的型台上，並且與機械裝置相互獨立。這些應變電感量測施加在測針上的觸發力，當壓力在任何方向上超過閾值時便產生觸發訊號。此類測頭因此具有低測力、低預行程和低 PTV 的特點。

1995 年推出的 MP700 接觸式觸發測頭是 Renishaw 首款採用應變電感技術的工具機測頭。它讓使用者體驗到了這項技術的種種優點 — 重複性提高、預行程縮短，並實際消除了 PTV。在要求更高精度的量測中，這些優點體現得更為明顯，尤其是使用多個感應方向量測 3D 表面時，或者工件設定量測接近向量未知時。

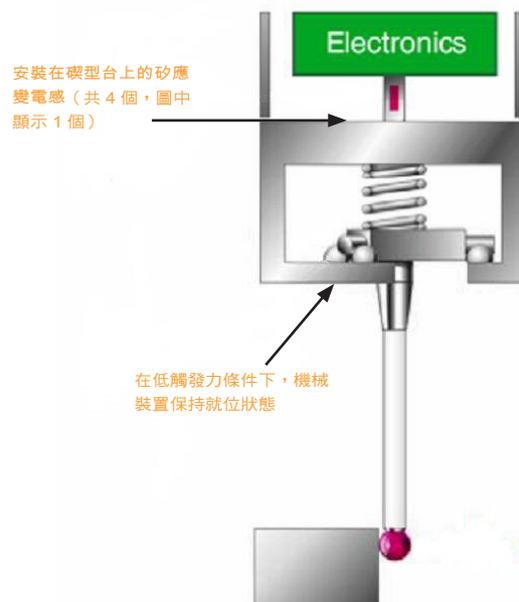
右側的圖 6 和圖 7 是應變電感接觸式觸發測頭的示意圖。在低觸發力條件下，機械裝置保持就位狀態，觸發力通過它們傳遞到測頭的機械傳感機構平台上。應變電感安裝在精密的型台上，如此盡可能提高測頭靈敏度，而又不影響其堅固性。它們會檢測機械傳感機構平台中的應力，其輸出值由電子元件處理，一旦在任何方向超出閾值，就會產生觸發訊號。此閾值通常只有幾克，遠低於同等機械式觸發測頭上的觸發力。

圖 6：



通過導線將壓力訊號傳送回測頭電路

圖 7：



採用應變電感技術開發低預行程測頭可能會讓一些人覺得，測頭容易受到振動和衝擊的影響，導致意外觸發。然而，在具有較大機械預行程而影響量測效能的情況下，Renishaw 採用測頭內部的濾波電路來確定在應變電感上檢測到的壓力，是否是由於測針真正持久偏轉（而不是瞬態衝擊或振動）所導致。為此，從第一次超過觸發力閾值的那一刻起，在檢測電路中便會插入一個短暫的高重複性延遲，在此延遲週期結束前，必須檢測到持續且不斷增加的壓力，然後才會發出觸發訊號。

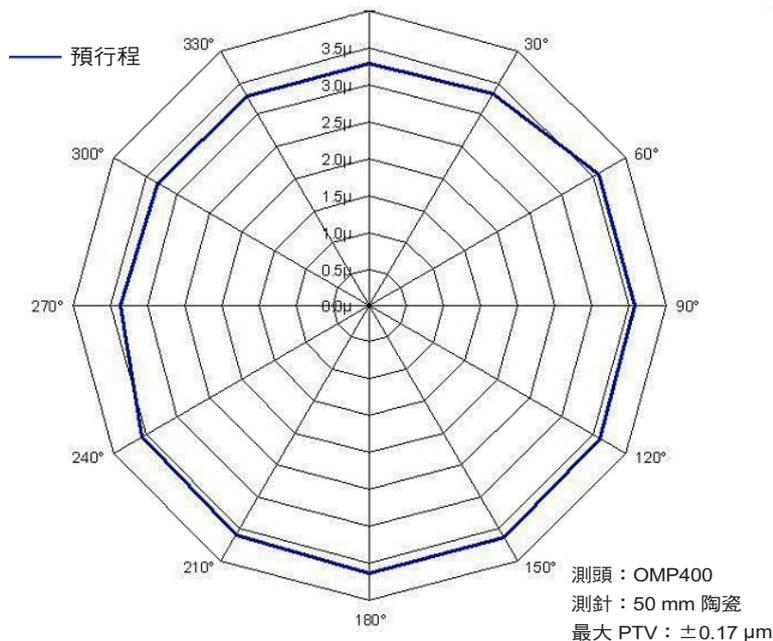
OMP400 接觸式觸發測頭

OMP400 是 Renishaw 最新款採用光學方式傳輸訊號的工具機接觸式觸發測頭。OMP400 採用了 MP700 首次使用的高精度應變電感技術的升級版本，且尺寸與屢獲殊榮的 OMP40 機械式觸發測頭一樣小巧。小型工具機使用者因此首次享受到應變電感技術帶來的精度優勢。

OMP400 接觸式觸發測頭的預行程極低，測頭電子元件採用最新的改善型演算法，因此其 PTV 比業界領先的 MP700 接觸式觸發測頭還要低。其優點在於只需要一次簡單的測頭校正程式，就可在任意方向使用該產品進行量測。再加上應變電感觸發測頭的超高重複性，OMP400 是模具和其他複雜工件唯一可行的量測解決方案。



圖 8：



應變電感技術還有一個優點，即該類測頭的使用壽命是傳統電阻測頭的十倍。此外，測頭內的應變電感結構進行了改良，產品的可靠性隨之提高，確保它可以很好地適應工具機中的嚴苛工作環境。

動態電阻觸發測頭的 PTV 隨測針長度而增加，這意味著對量測效能的要求會限制所用測針的長度。OMP400 接觸式觸發測頭具有更低、更一致的測力，量測效能更加出色，支援更長的測針應用。OMP400 可支援使用長達 200 mm 的測針，量測效能僅略微下降。

左側圖 8 顯示了在解析度為 10 nm 的 Renishaw 測頭測試裝置上進行的量測測試，其中以 30° 為增量圍繞一個圓採集 12 個點。圖中顯示了 OMP400 接觸式觸發測頭的典型 PTV 圖，所有方向的預行程都很低，而且幾乎一致。使用 50 mm 測針時，XY 平面中的 PTV 值僅為 0.34 µm，比類似尺寸的動態電阻觸發測頭的 PTV 值低大約 90%。OMP400 接觸式觸發測頭的 XYZ PTV 值通常小於 1 µm。

OMP400 測頭	測針長度			
	50 mm	100 mm	150 mm	200 mm
重複性 12 個方向中任意方向的最大 2 sigma	0.25 µm	0.35 µm	0.50 µm	0.70 µm
2D (XY) 各向變異 環規的最大偏差	± 0.25 µm	± 0.25 µm	± 0.40 µm	± 0.50 µm
3D (XYZ) 各向變異 已知空間位置的最大偏差	± 1.00 µm	± 1.75 µm	± 2.50 µm	± 3.50 µm